

ACCIDENTES DE MONTAÑA Y TORMENTAS

Ramón Pascual y Alfons Callado

Meteorólogos del Grupo de Predicción y Vigilancia Delegación Territorial en Cataluña
Agencia Estatal de Meteorología

Introducción

Los accidentes que se producen durante la práctica de los deportes de montaña pueden tener causas diversas. Los riesgos meteorológicos son uno más de los riesgos naturales que se puede encontrar el practicante de una actividad turística/deportiva en la montaña. El montañero experimentado o el turista ocasional está sometido a riesgos biológicos (ataques, picadas o mordidas de animales), geomorfológicos (desprendimientos, deslizamientos), fluviales (avenidas e inundaciones), nivológicos/glaciales (aludes), etc. (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002).

Algunos de los fenómenos meteorológicos o condiciones atmosféricas más peligrosos y que comportan un riesgo más elevado en la práctica del montañismo, en sentido amplio, son las tormentas, las nevadas fuertes y/o copiosas, los vientos fuertes de origen no convectivo, las temperaturas extremas y la niebla. Los tipos de tiempo observados en los días en que se han producido accidentes ligados a las condiciones meteorológicas se pueden agrupar de forma subjetiva partiendo de características como el valor estimado de las diferentes variables atmosféricas (velocidad del viento, temperatura, visibilidad, etc.), la presencia de diferentes meteoros (tormenta, lluvia, nevada, etc.) o la época del año. De este modo se puede hablar de temporales invernales (Pascual, 2001; Pascual y Callado, 2007), episodios tormentosos tipo o situaciones con visibilidad muy reducida, por ejemplo. Un análisis extenso y detallado sobre la relación entre accidentes en montaña y meteorología se puede encontrar en Pascual (2008).

Se debe considerar también que los cambios a menudo bruscos de las condiciones atmosféricas implican variaciones en las condiciones del terreno: mojado, helado, nevado, etc. En términos generales es lo que Fuster y Elizalde (1995) llaman cambios cualitativos en el *substratum* de la práctica deportiva como consecuencia de la acción de los *agentes modificadores internos o ecológicos*, en este caso el factor meteorológico.

El rayo, debido a su severidad, es el fenómeno más peligroso asociado a las tormentas. Hay diferentes tipos según la carga eléctrica que transportan (negativa o positiva), su forma (ramificada, lineal, bola), o entre que lugares se establece la descarga: en el interior de una nube, entre nubes, entre una nube y el aire o entre una nube y el suelo. Aproximadamente por cada rayo nube-tierra (NT) hay cuatro entre nubes. Las descargas NT están fuertemente relacionadas con la forma del terreno, siendo los perfiles convexos (picos, crestas, cordales, etc.) y los objetos protuberantes (árboles, rocas aisladas, etc.) (Fig. 1) los lugares donde la probabilidad de impacto es más grande, pero no se ha subestimar el hecho que se pueden producir en cualquier punto (Holle, 2005), como fondos de valle, a media ladera o dentro de un bosque más o menos denso.

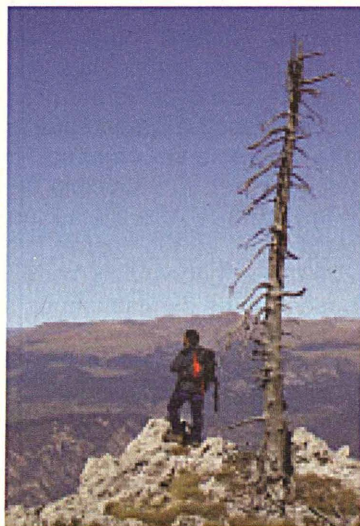


Fig. 1. Árbol impactado por un rayo en la sierra del Cadí.
Prepirineo catalán.
Foto: R. Pascual

Kellermann (1984) estableció que un 4.2 % de los accidentes con muerte ocurridos en los Alpes suizos de 1971 a 1977 fueron debidos a rayos y caídas de piedras o bloques de hielo. En el mismo período las tormentas provocaron un 4.7 % de las muertes en los Alpes austriacos.

Las tormentas van acompañadas a menudo de chubascos fuertes, vientos violentos y granizo o pedrisco. Las inundaciones repentinas asociadas a los aguaceros son el segundo peligro más grande asociado a las tormentas (Doswell, 2001), especialmente en los cámpings, durante la práctica de la acampada libre o el vivac y en el descenso deportivo de barrancos. Una inundación repentina fue la causa de la catástrofe del camping Virgen de las Nieves de Biescas, en agosto de 1996 (Cáncer, 1996; Riosalido *et al.*, 1997) y ha habido otras ocasiones en las en el Pirineo ha sido necesaria la evacuación en previsión de crecidas de los caudales de ríos y torrentes.

El descenso de barrancos es la actividad deportiva más potencialmente afectada por las crecidas repentinas y todos los años se registran incidentes y desgraciadamente accidentes graves o mortales en los ríos y barrancos del Pirineo y especialmente del Prepirineo. El 21 de julio de 1999 la muerte en un barranco cercano a la ciudad de Interlaken (Alpes suizos) de 21 personas que pertenecían a un grupo conducido por profesionales planteó en ese país un cambio de legislación en el campo de este tipo de actividades deportivas y económicas. Por su lado, los vientos fuertes de origen convectivo son especialmente peligrosos en los bosques donde es posible la caída de ramas e incluso árboles enteros y también en vertientes abruptas con piedras sueltas, susceptibles de caer empujadas por una racha fuerte.

En las montañas de la Península Ibérica las tormentas son bastante habituales, especialmente durante la época cálida del año. Algunas de las áreas peninsulares más tormentosas se localizan en los sectores más orientales del Pirineo y del Sistema Ibérico (Fig. 2), con 25-45 días de tormenta al año (Vilar, 1995; Terradelles, 1999; Pascual *et al.*, 2004). Otro dato: a lo largo de los veranos de 2002 y 2003, más de la mitad de los días hubo al menos una tormenta en el Pirineo francés (Gillet-Chaulet y Viel, 2004) y con mucha seguridad esta proporción fue superior en la vertiente sur de la cordillera.

En el conjunto de la Península Ibérica más del 50 % de los días del año hay una tormenta en algún sitio. La elevada frecuencia anual de tormentas en las zonas montañosas ha dejado huella en la toponimia, apareciendo orónimos como la Sierra del Rayo, en el municipio de Mosqueruela (Fig. 3), Teruel, o la Roca Plana dels Llamps («Rayos»), en Montserrat (Pascual y Soro, 2008). Se debe añadir que dado que las bases de los cumulonimbos se encuentran muy cerca de las cimas e incluso por debajo de ellas los rayos afectan fácilmente estos puntos elevados.

Las tormentas en montaña tienen unos impactos directos asociados a los rayos, sean las ramas principales, las secundarias o las corrientes de tierra (manifestaciones traumáticas, eléctricas y térmicas), a los chubascos fuertes o muy fuertes y a las nevadas fuera de temporada (empapamiento, enfriamiento, disminución de la visibili-

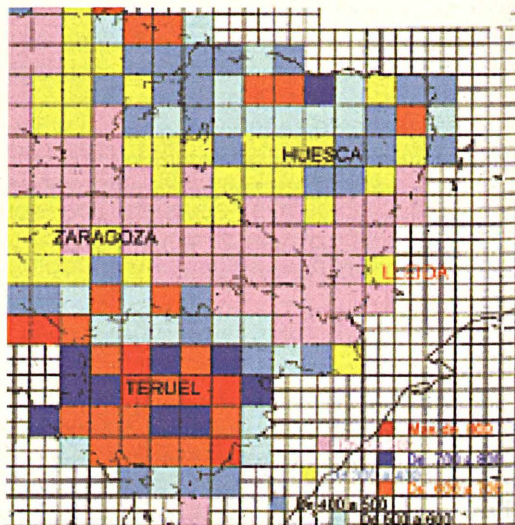


Fig. 2. Número de descargas eléctricas NT registradas durante 1999 en Aragón, parte de Navarra y La Rioja, y zonas periféricas. Las casillas tiene 0.2° de lado. Mapa elaborado a partir del presentado por Álvarez, 2000.



Fig. 3. Mosqueruela y la Sierra del Rayo. Foto: R. Pascual

dad horizontal), a bajadas bruscas de la temperatura (enfriamiento e hipotermia en los casos más graves), al pedrisco (traumatismos) y a los vientos muy fuertes (pérdida del equilibrio, impacto de objetos). Con frecuencia, los cambios más notables de las condiciones meteorológicas se producen en tormentas asociadas al paso de frentes fríos, a diferencia de las producidas en el seno una misma masa de aire.

Los efectos indirectos se pueden agrupar en cambios en las condiciones del terreno (suelo mojado, nevado o helado), ignición de incendios forestales (entre un 5 % y un 10 %, de los incendios en España) (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002), crecidas e inundaciones, caídas de piedras e incluso de cornisas de nieve o hielo. Un buen ejemplo de impacto indirecto fue el extravío de un grupo de 44 personas en el Montseny el 2 de agosto de 2005 a los que afectó una fuerte tormenta. Los deportes de montaña probablemente más sensibles a las tormentas son el excursionismo, la bicicleta de montaña, el descenso de barrancos, la escalada en roca y el alpinismo (Pascual, 2006).

Obviamente hay una serie de factores ligados a los propios practicantes que influyen en cierta medida en la gravedad de un accidente o incidente, como son su preparación física, psíquica y técnica o el equipo y material del cual dispone (George, 1993). Sin embargo, el análisis de diferentes casos sugiere que en determinados tipos de tiempo muy adversos y suponiendo un mismo grado de exposición, la vulnerabilidad de los montañeros es poco dependiente de sus aptitudes. Se puede considerar entonces válida en general, y específicamente para el caso de las tormentas, la expresión propuesta por el investigador suizo André Roch, director del Instituto Federal de la Nieve y las Avalanchas: «el alud (el rayo) no sabe que tu eres un experto».

Casos seleccionados

Con el objetivo de conocer mejor cuales son las circunstancias que han acompañado los accidentes producidos por rayos en las montañas españolas se ha hecho una búsqueda semi exhaustiva de casos y se ha elaborado un listado que, a pesar de que estamos seguros de que no es completo, creemos que es suficientemente representativo para poder extraer algunas conclusiones válidas que ayuden a mitigar este riesgo natural, es decir, prevenir los accidentes ligados a este meteoro. Por su situación se ha considerado adecuado incluir también un caso registrado en el principado de Andorra.

Se han seleccionado noticias en hemerotecas digitales de diversos diarios de ámbito estatal o regional. Otra fuente fundamental de información ha sido el artículo de Perelló y Reñé (1953), *Los accidentes en nuestras montañas*, publicado en la revista *Montaña del Centre Excursionista de Catalunya*. Este trabajo recoge 46 accidentes ocurridos en España durante la primera mitad del siglo XX. La búsqueda de noticias en prensa se ha realizado para Cataluña a partir de 1965 y a partir de 1975 para el resto de España. Por lo tanto, existe una importante laguna temporal correspondiente a mediados del siglo XX. Por su lado, en el ámbito alpino es muy interesante la extensa y variada recopilación pre-

sentada por Schubert (1996), en la cual hace una reseña de accidentes por rayo en tiendas de campaña, árboles, vías de escalada y ferratas, caminos, etc.

A continuación se muestran los casos que se han podido documentar hasta hoy. No se debe olvidar que también se han producido accidentes mortales en otros entornos bastante diferentes, incluso en la playa, como el que mató un turista italiano en la playa de Santa Ponça, en Mallorca, el 24 de agosto de 1995 o más recientemente los dos accidentes sucedidos en playas catalanas, concretamente en la de Tamarit (Tarragona) la tarde del 1 de julio de 2007 o el 19 de agosto del mismo año en Castelldefels, cerca de Barcelona capital.

1) Jueves, 27 de julio de 1916. Puente de Mahoma. Aneto.

Cuatro personas involucradas y dos muertos. Pirineo.

Este es probablemente uno de los accidentes más conocidos en el ámbito pirenaico. El lugar y las especiales circunstancias que lo envolvieron hicieron que tuviera una gran resonancia en su época. Uno de los implicados, mosén Jaume Oliveres, muy activo en aquella primera etapa del excursionismo, describió el suceso en *Els Llamps de la Maleïda* (Fig. 4), publicado por Lluís Gili en Barcelona en 1917 y reeditado posteriormente en varias ocasiones. Dos de los cuatro participantes en esta excursión, el alemán Adolf Blass y José Sayó, murieron fulminados hacia el mediodía en el Puente de Mahoma, corta pero aérea cresta rocosa que lleva a la cima del Aneto, cuando ya volvían de la cima, de 3404 m. José Sayó era uno de los mejores guías de montaña de Benasque y futuro guarda del que en pocos días había de ser el flamante refugio de La Renclusa, del *Centre Excursionista de Catalunya*.

La situación sinóptica estaba caracterizada por un flujo débil del norte sobre el Pirineo asociado a la entrada de una dorsal atlántica y a un mínimo barométrico poco importante sobre el Pirineo oriental. Las tormentas fueron bastante generales en Aragón y Cataluña.

2) Domingo, 8 de setiembre de 1935. Tres personas involucradas y un muerto. Prepirineo.

Una tormenta atrapa a una cordada de tres escaladores, entre ellos Francesc Homedes, en los últimos largos de una nueva vía en la cara norte de la aguja rocosa llamada El Gat (2300 m), en la pared norte del Pedraforca. La muerte se produce cuando, a consecuencia de la caída de un rayo, Homedes queda conmocionado, suelta la cuerda a la que estaba cogido mientras bajaba a reunirse con sus compañeros y cae (Perelló, 1953).

La situación sinóptica era probablemente de anticiclón centrado con vientos flojos en niveles bajos. Bajas presiones relativas sobre el Mediterráneo Occidental.

3) Viernes, 25 de agosto de 1989. Cuatro muertos. Sistema Prebético.

Este es uno de los accidentes más graves por rayo que se han registrado en España a lo largo del siglo XX. En la sierra de la Sagra (Granada), situada en las montañas del Sistema Prebético, y concretamente en el lugar conocido como Cortijos Nuevos de la Sierra (a unos 20 km de La Puebla de Don Fadrique), un rayo impactó hacia las 19:30 h.o en la reja de un cortijo produciendo la muerte de cuatro personas que se encontraban en su interior. En este caso el accidente no ocurrió realizando una actividad al aire libre sino encontrándose las víctimas en una casa de campo.



Fuente: CEG (Mai Enrera)

Fig. 4. Portada del Libro
Els Llamps de la Maleïda,
de Jaume Oliveres

4) Jueves, 10 de agosto de 1993. Un muerto. Pirineo.

Una excursionista muere electrocutada por la caída de un rayo durante la tarde. El accidente se produce por encima del Estany Negre (2627 m), bajo el pico más alto de Andorra, el Comapedrosa (2939 m) (Fig. 5), en el extremo occidental de este pequeño país.

5) Lunes, 21 de agosto de 1995. Un muerto. Pirineo.

Un excursionista muere por el impacto de un rayo en la cima del Monte Perdido (3355 m), en el Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido, en el Pirineo Central (Huesca). El accidente se produce pasadas las cuatro de la tarde.

6) Lunes, 19 de agosto de 1996. Dos personas involucradas. Pirineo.

Dos excursionistas sufren el impacto de un rayo a primera hora de la tarde a 50 m del refugio de Ulldeter (2230 m), en el circo del mismo nombre. La crónica de los hechos dice «se ven arrancados del suelo por una fuerte sacudida y lanzados violentamente contra las piedras del camino». Uno de los chicos quedó inconsciente y sufrió quemaduras de segundo grado (Solà, 1996).

7) Lunes, 2 de agosto de 1999. Dos personas involucradas y un muerto. Pirineo.

Un excursionista cae fulminado por un rayo hacia las 17:30 h.o. en el ibón de Atxerito (1800 m), en la cabecera del valle de Hecho, en el Pirineo Occidental (Huesca).

8) Domingo, 30 de mayo de 2004. Dos personas involucradas y un muerto. Cordillera Prelitoral Catalana.

Dos mujeres reciben el impacto indirecto de un rayo que cae sobre un árbol hacia las 14:45 h.o. en el área de aparcamiento del collado de Can Maçana (700 m) (Fig. 6), en el extremo occidental de Montserrat. Una de ellas muere y la otra queda gravemente herida.

9) Martes, 17 de agosto de 2004. Tres personas involucradas y un muerto. Pirineo.

Poco después de bajar de un autobús que había llevado un grupo de unas 20 personas desde el pueblo de Nerín hasta la parte alta del valle de Ordesa, hacia las 8:15 h.o., dos excursionistas reciben el impacto de un rayo en el lugar conocido como bajador de Ciarracils (2200 m), camino del refugio de Góriz. Un de ellos muere y otros dos sufren heridas graves.

10) Martes, 21 de junio de 2005. Dos personas involucradas. Pirineo.

Dos excursionistas reciben el impacto de un rayo hacia las 14:30 h.o. camino del pico de Costabona



Fig. 5. Macizo de Comapedrosa, en Andorra.
Foto: R. Pascual

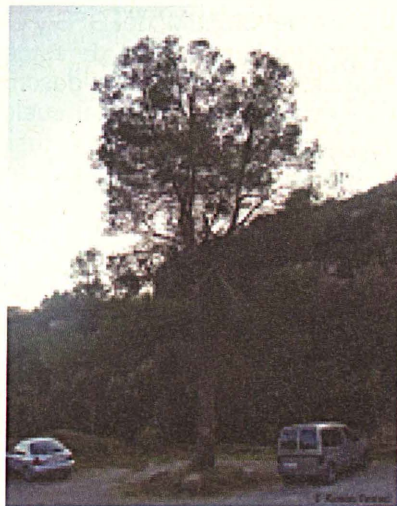


Fig. 6. Árbol impactado por el rayo en la zona de aparcamiento de Can Maçana, en Montserrat.
Foto: R. Pascual

(2465 m) (Fig. 7), en el Pirineo Oriental, cuando se encontraban a unos 2000 m. Quedan gravemente heridos.

11) Miércoles, 17 de agosto de 2005.

Una persona involucrada. Pirineo.

Un excursionista sufre la caída de un rayo en el collado de Eina (2700 m), sobre el Santuario de Núria, nuevamente en el Pirineo Oriental, y queda gravemente herido. El accidente pasa hacia las 11:30 h.o.

12) Domingo, 8 de abril de 2007. Un muerto. Pirineo.

Un excursionista sufre directamente el impacto de un rayo y muere fulminado a 200 m del pico de Ori (2021 m), en el Pirineo navarro, cuando ya bajaba por la tarde.

13) Sábado, 11 de agosto de 2007. Dos personas involucradas y un muerto. Picos de Europa.

Dos excursionistas se ven afectados por una tormenta hacia las 19 h.o. en la brecha de los Cazadores, en el camino entre el Jou de los Cabrones y el refugio de Vega Urriellu, bajo el Naranjo de Bulnes (Picos de Europa). Según testigos presenciales, la caída de un rayo hace que uno de los dos salga despedido y muera, y el otro caiga también, quedando malherido.

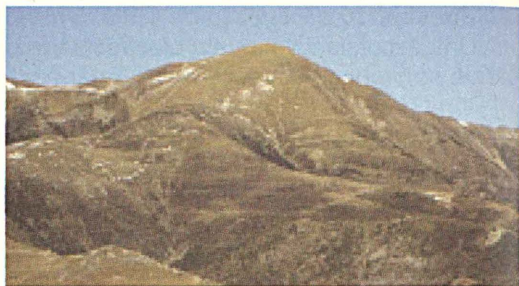


Fig. 7. Macizo de Costabona, en el Pirineo Oriental. Foto: R. Pascual.

Situación meteorológica

La descripción básica de la situación meteorológica se ha realizado fundamentalmente a partir de los campos analizados de temperatura y geopotencial en 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa, 300 hPa y de presión en superficie, focalizando la atención especialmente a las 12 UTC del día en cuestión aunque analizando también la evolución temporal de la situación sinóptica. También se han consultado los campos de viento en niveles altos del modelo del CEPPM, del GFS y el análisis de máximos de viento del INM en 300 hPa para considerar la presencia de estos máximos en las cercanías de la zona de estudio. Por supuesto, se trata de una descripción muy somera de carácter subjetivo que ha permitido, sin embargo, identificar cuales son aquellas situaciones sinópticas tipo bajo las cuales han ocurrido los sucesos reseñados. Se ha utilizado para su clasificación el siguiente listado de tipos sinópticos presentados en una publicación interna previa:

Cuadro 1:

- 1.-Intensa circulación zonal a bajas latitudes.
- 2.-Advección zonal producida por un anticiclón atlántico-mediterráneo.
- 3.-Vaguada, asociada o no a una depresión centrada en el Golfo de Vizcaya.
- 4.-Advección septentrional.
- 5.-Advección continental europea.
- 6.-Advección de levante asociada a un anticiclón centroeuropeo.
- 7.-Advección de levante con DANA.
- 8.-Advección del SW asociada o no a una depresión británica.
- 9.-Vaguada ibero-africana o baja dinámica centrada en el sur de la península.
- 10.-Baja dinámica centrada.
- 11.-Anticiclón dinámico centrado.
- 12.-Pantano barométrico.

13.-Baja térmica.

14.-Baja térmica con vaguada en altura.

En la tabla 1 se presentan algunas características básicas de las distintas configuraciones sinópticas presentes en las fechas seleccionadas. La inclusión de las temperaturas tiene como objetivo presentar unos valores umbrales tentativos para el desarrollo de tormentas en las zonas de estudio. En la columna de comentarios se han añadido algunas notas sobre la posible presencia de frentes, fronteras, ondas cortas, vaguadas retrógradas, máximos de viento en niveles altos, etc. que complementan la caracterización sinóptica acercándola a la mesoscala alfa.

De las 14 clases sinópticas posibles sólo han estado presentes 7, como consecuencia lógica del sesgo estacional de la muestra y de haber seleccionado días tormentosos. Además la subjetividad del método de asignación a cada clase puede estar detrás de la no aparición de alguna de ellas, relativamente parecida a otra que si haya aparecido. De estas 7 situaciones las más frecuentes han sido la 14 y la 13, baja térmica con o sin vaguada en altura. Aunque la presencia de una baja térmica en superficie en el interior de la Península Ibérica es muy habitual en los meses cálidos del año, las tormentas aparecen con mayor facilidad cuando ésta se combina con algún tipo de elemento mesoscalar o subsinóptico perturbador en niveles superiores. Por lo tanto, tiene valor predictivo identificar previamente este tipo de estructuras de menor escala. En el caso de las configuraciones 13 o 14 el flujo sinóptico en superficie es flojo y a menudo variable en dirección, aunque pueda haber existido en alguna ocasión una componente predominante.

Fecha	Situación sinóptica tipo	T500/T700/T850 (°C) $\Delta(700500)/\Delta(850500)$ 12 UTC	Flujo sinóptico (superficie)	Comentarios
27/07/16	4/13 (L)	No hay datos	Flojo del N	No hay datos
8/09/35	11	No hay datos	Flojo/Variable	No hay datos
25/08/89	14	-10/9/22 19/32	Flojo/Variable	Nada a destacar.
10/08/93	4	-13/6/15 19/28	Moderado del NW	Nada a destacar.
21/08/95	5	-13/2/15 15/28	Flojo del NE	Vaguada retrógrada europea
19/08/96	14	-10/3/17 13/27	Flojo del NW	Onda corta asociada a una vaguada atlántica bastante profunda y zona difluente en niveles altos delante de ella.
2/08/99	3	-11/6/16 17/27	Flojo/Variable	Paso durante el día 2 de un frente frío frontolítico de W a E.
30/05/04	13	-15/1/12 16/27	Flojo/Variable	Paso lento de frente frío débil de W a E cruzando la península.
17/08/04	3	-13/6/16 19/28	Flojo del W	Paso de frente frío o frontera térmica mesoscalar de W a E.
21/06/05	11/13	-11/6/17 17/28	Flojo/Variable	Nada a destacar.
17/08/05	14	-14/8/18 22/32	Flojo del SE	Pequeña máximo de viento del SW sobre Cataluña en 300 hPa.
8/04/07	7	-24/-6/6 18/30	Flojo del NE	DANA y vaguada retrógrada europea
11/08/07	14	-13/4/16 17/29	Flojo/Variable	Onda corta embebida en vaguada sinóptica.

Tabla 1. Características básicas de las situaciones sinópticas presentes en las 13 fechas con accidentes. Situación sinóptica tipo según Cuadro 1. T500, T700, T850: Temperaturas (según análisis de modelo) en 500 hPa, 700 hPa y 850 hPa, respectivamente, a 12 UTC, sobre el área del suceso. $\Delta(700500)$ y $\Delta(850500)$: Diferencias de temperatura a 12 UTC entre 500 hPa y 700 hPa y entre 500 hPa y 850 hPa, respectivamente.

El caso más avanzado en el año corresponde al del 8 de abril de 2007. En esta ocasión la atmósfera está notablemente más fría que en los otros eventos, y la situación atmosférica está dominada por una DANA y un flujo de levante en superficie (tipo 7). En un par de casos (8 de septiembre de 1935 y 21 de junio de 2005) la situación ha estado dominada por un anticiclón dinámico centrado y por lo tanto, por una atmósfera a priori subsidente y estable, sin embargo, está ampliamente presente la actividad tormentosa en áreas de montaña. Las advecciones septentrionales o continentales europeas también han estado presentes en un par de fechas (agostos de 1993 y 1995), estableciéndose a priori un flujo en superficie de componente norte.

Finalmente, se ha diagnosticado en dos casos el paso de una vaguada atlántica con frente frío o frontera térmica asociados. Por ejemplo, el 2 de agosto de 1999, caso de Atxerito, el extremo sur (cola) de un frente frío atlántico se sitúa a las 18 UTC sobre el Pirineo Occidental. El paso de este frente genera precipitaciones y tormentas en todo el tercio norte peninsular.

Los valores medios para los 11 casos con datos de temperatura son $\overline{T500} = -13.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\overline{T700} = 4.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\overline{T850} = 15.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta(700500) = 17.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\Delta(850500) = 28.7\text{ }^{\circ}\text{C}$, y los valores para el mes de agosto son: $\overline{T500} = -12.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\overline{T700} = 5.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\overline{T850} = 16.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, $\Delta(700500) = 17.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\Delta(850500) = 28.9\text{ }^{\circ}\text{C}$, es decir, algo más elevadas las temperaturas pero las mismas diferencias entre niveles. Como valores umbrales se puede decir que no se ha producido ningún caso en el que la temperatura en 500 hPa haya sido superior a $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y salvo un caso, en que la temperatura en 850 hPa haya sido superior a $18\text{ }^{\circ}\text{C}$. Por su parte, la diferencia de temperatura entre estos dos niveles nunca ha sido inferior a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para las fechas posteriores al año 2000 se dispone de datos de las redes de detección de descargas eléctricas y de radares de la AEMET (en su momento INM) con los cuales se ha caracterizado igualmente de forma somera la actividad tormentosa en las fechas analizadas.

El 30 de mayo de 2004, caso de Montserrat, el paso de un frente frío atlántico dispara tormentas orográficas fundamentalmente en el Pirineo, el sector suroriental del Sistema Ibérico, las cordilleras litoral y prelitoral de Cataluña, en donde está Montserrat, y las montañas del interior de Castellón. Los primeros rayos se detectan en el Pirineo entre las 08 UTC y las 10 UTC y en la Cordillera Prelitoral Catalana entre las 10 UTC y las 12 UTC. El periodo más activo en este sector se sitúa entre las 12 UTC y las 18 UTC, intervalo en el que se produce el accidente (Fig. 8). La imagen de acumulación radar de 24 horas también refleja la sinergia orografía-frente frío.

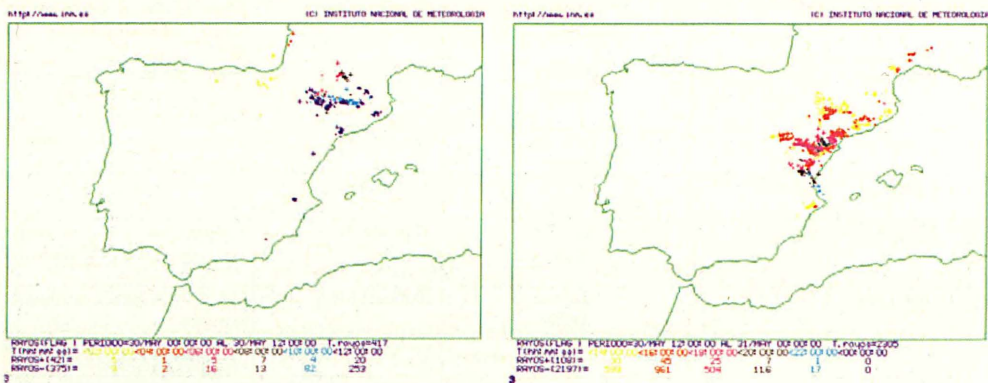


Fig. 8. Descargas eléctricas registradas entre las 00 UTC y las 12 UTC del día 30/05/04 (izq. y entre las 12 UTC del día 30/05/04 y las 00 UTC del día 31/05/04 (Der.).

El 17 de agosto de 2004 (Fig. 9), caso de Ordesa, se detectan rayos ya desde las 06 UTC a lo largo de una banda orientada de SW a NE situada entre el centro de la Península Ibérica y el sur de Francia, además de algunos otros dispersos en puntos del interior. En el SE de Francia se desarrollan durante todo el día sistemas convectivos muy activos. Entre las 06 UTC y las 08 UTC nace una tormenta en el norte de Huesca que, al desplazarse hacia el NE, acabará afectando al Alto Pirineo aragonés y al área del accidente. Por la tarde las tormentas afectan casi exclusivamente al cuadrante nordeste peninsular, y acaban afectando a todo el Pirineo aragonés. Las tormentas están asociadas al paso de un frente frío o una frontera térmica mesoscalar de W a E a lo largo del día 17 acompañando a una vaguada en 500 hPa.

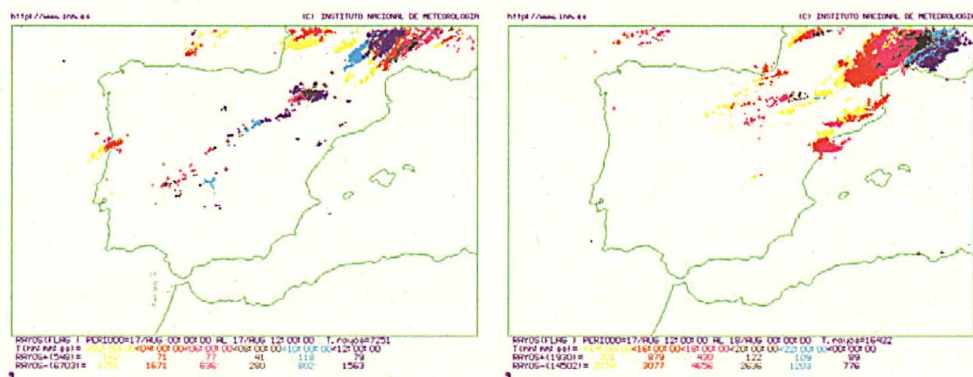


Fig. 9. Descargas eléctricas registradas entre las 00 UTC y las 12 UTC del día 17/08/04 (izq.) y entre las 12 UTC del día 17/08/04 y las 00 UTC del día 18/08/04 (Der.).

El 21 de junio de 2005 (Fig. 10), caso del Costabona, empiezan a desarrollarse tormentas en varias cordilleras ibéricas entre las 10 UTC y las 12 UTC que se extenderán a amplias zonas de la mitad este peninsular, fundamentalmente sobre áreas montañosas y otros puntos del interior. Entre las 10 UTC y las 14 UTC hay abundantes rayos en el área del accidente y es en este periodo cuando se produce. El contexto es típicamente anticiclónico y pre-veraniego.

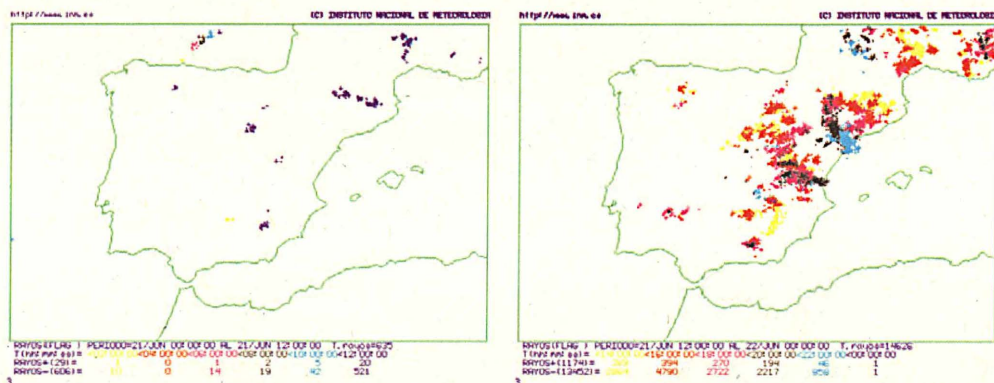
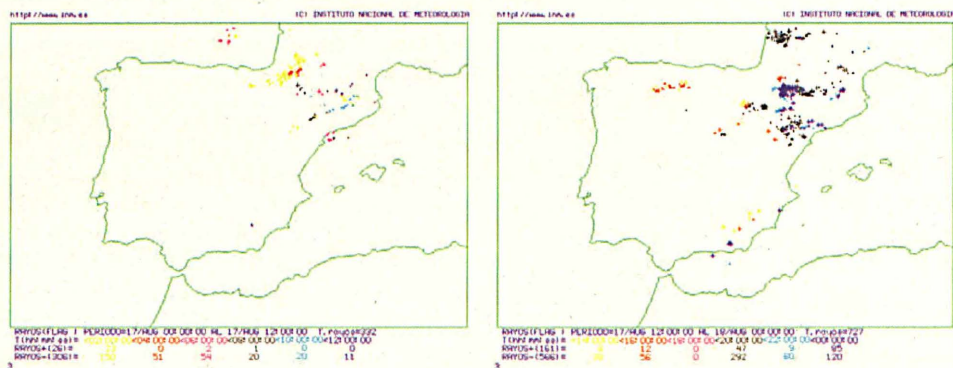


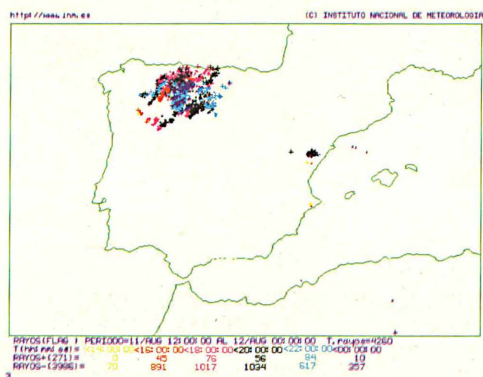
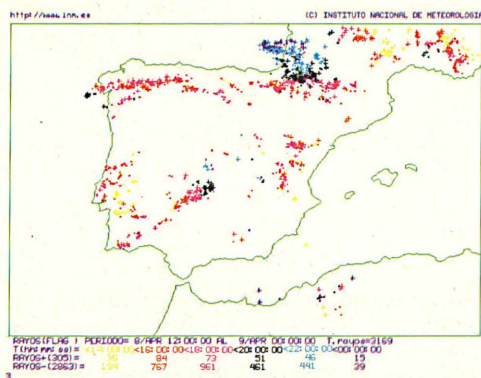
Fig. 10. Descargas eléctricas registradas entre las 00 UTC y las 12 UTC del día 21/06/05 (izq.) y entre las 12 UTC del día 21/06/05 y las 00 UTC del día 22/06/05 (Der.).

El 17 de agosto de 2005 (Fig. 11), caso de Eina, las tormentas afectan casi exclusivamente al cuadrante nordeste peninsular ya desde la madrugada y se reactivan de forma

notable pasadas las 18 UTC. Afectan especialmente al Pirineo, sobretudo a su parte central, al Sistema Ibérico y de forma más dispersa a puntos del valle del Ebro y del sur de Cataluña. En la zona del accidente empiezan a producirse descargas entre las 08 UTC y las 10 UTC, periodo en el que se registra el accidente, aunque ya de madrugada se habían producido en el mismo macizo. El paso de un máximo de viento en altura en un contexto de onda corta en niveles altos pudo haber facilitado el desarrollo de convección profunda a horas tempranas, acoplado el forzamiento orográfico a las circulaciones secundarias transversales asociadas a dicho máximo.



Durante la tarde del día 8 de abril de 2007 (Fig. 12), caso de Ori, se registran tormentas en el interior peninsular y especialmente en las cordilleras pirenaica y cantábrica. Una tormenta generada entre las 16 UTC y las 18 UTC en el Pirineo Occidental, probablemente la causante de la muerte del montañero, se traslada anómalamente hacia el NW entrando aun bastante activa sobre el mar Cantábrico a primeras horas de la noche. El gran gradiente vertical de temperatura entre 850 hPa y 500 hPa facilita la aparición de numerosas tormentas en una época del año no especialmente propicia para ello. El sector pirenaico más afectado por las precipitaciones y tormentas es justamente el norte de Navarra.



El paso de oeste a este de una onda corta en 500 hPa del día 11 de agosto de 2007 (Fig. 13) facilita durante la tarde la formación de tormentas casi exclusivamente en el interior del cuadrante noroeste peninsular, afectando de pleno al sector occidental de la Cordillera Cantábrica y a los Picos de Europa en concreto.

Resumen de los casos estudiados

En este listado se han presentado 13 accidentes en montaña, 10 de ellos mortales, vinculados a las descargas eléctricas dentro de las tormentas, pero ya se ha dicho que los peligros asociados a éstas no se reducen exclusivamente al rayo sino que los vientos fuertes, incluidos los raros y violentos tornados y microreventones, y las precipitaciones intensas, pueden tener también efectos directos o indirectos muy graves.

Solamente en una ocasión ha habido más de dos víctimas mortales. Se trata del suceso en la sierra de la Sagra, caso en cierta medida marginal en relación al perfil de accidentes que se han considerado, pero ciertamente registrado en un área montañosa, a unos 1200 m de altitud. A nivel mundial se han registrado rayos excepcionales que han provocado la muerte a más de 10 personas, como el que afectó en agosto de 1967 a un grupo de 46 montañeros en Doppyo (Japón) (Schubert, 1996; Holle, 2005), pero no es tan extraño, al menos en los Alpes, que haya accidentes con más de 3 víctimas mortales. La vulnerabilidad humana a la muerte por rayo es, sin embargo, relativamente baja, siempre que el impacto de la rama principal del rayo no sea directo. Según la Dra. Gourbière, solamente un 20 % de las personas que sufren un impacto muere (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002), pero la mayoría de los supervivientes (70 %) sufren lesiones muy graves, incluso provocando incapacitación, especialmente vinculadas a pérdidas de memoria, concentración, problemas con el sueño, fatiga crónica, etc. (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002).

Del total de casos, al menos 9 se han producido muy cerca de una cima, collado, cordal o similar, es decir, en un área relativamente elevada respecto al entorno inmediato, tanto sobre terreno rocoso como herboso. De hecho, contrariamente a lo que se puede pensar, algunos estudios sobre la cantidad de impactos de rayo según la tipología del sustrato indican que pueden caer sobre cualquier clase, a pesar de que el suelo tenga características conductoras diferentes (<http://www.pararrayos.info/>). Este abanico de sustratos incluye la

nieve: si bien durante el invierno y la primera parte de la primavera no son frecuentes las tormentas, por lo cual el esquiador de montaña o el excursionista con raquetas no ha de sufrir especialmente por éstas, la progresión veraniega sobre una glaciación o un helero no es garantía de aislamiento eléctrico y seguridad en caso de tormenta.

El caso de Can Maçana, en el que un rayo cayó sobre un pino carrasco, es paradigmático. En mayo de 1983 tuvo lugar un gravísimo accidente en el Burgerland, en el sude-

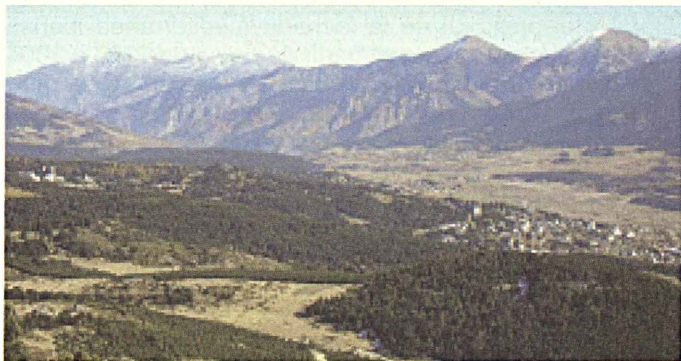


Fig. 14. Bosque de Font Romeu. Pirineo Oriental.
Foto: R. Pacual.

te de Austria, cuando cuatro excursionistas murieron y cuatro más sufrieron heridas graves al caer un rayo sobre un roble solitario (Schubert, 1996). Contrariamente, y como excepción, el 8 de agosto de 1993 un rayo afectó a un grupo de niños en un pinar en la zona de Font Romeu (Fig. 14), en la Alta Cerdanya (Departamento de los Pirineos Orientales). Uno de los niños quedó herido muy gravemente y otros cinco también se vieron involucrados en el accidente. En la figura 15 se muestra un grupo de ovejas muertas por el impacto de un rayo en un árbol dentro de un bosque en Andorra, en una tormenta registrada en septiembre de 2003.

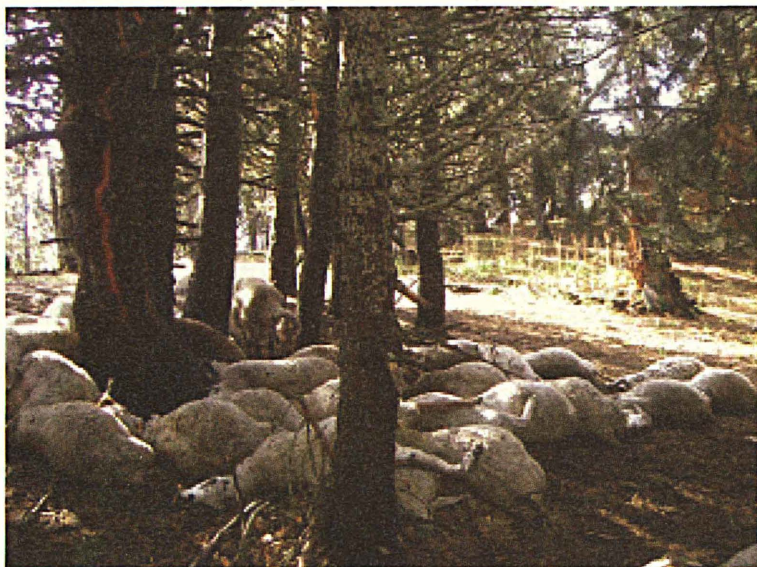


Fig. 15. Rebaño muerto po run rayo en un bosque de Andorra.
Foto: Gerard Martínez.

táculo». Las superficies mojadas, fisuras, pequeños torrentes, etc., son especialmente peligrosos por estos motivos (Schubert, 1996) y por ello, entre las normas de autoprotección en caso de tormenta in situ hay la de no bajar por una pared rocosa con técnica de rappel (Desportes, 2004).

Todos los casos seleccionados se han producido entre los meses de abril y setiembre, siendo el de agosto, con 8 casos, el único que ha registrado más de uno. Entre el 15 de julio y el 15 de setiembre hay 10 de los 13 accidentes y se constata que no hay ninguno ni en invierno ni en otoño, a pesar de que esta estación puede ser muy activa tormentosamente en las montañas del litoral y el prelitoral de la fachada mediterránea ibérica. Como ejemplo, en un estudio llevado a cabo en Andorra a partir de datos de 1997 a 2004, una de las conclusiones fue que agosto es el mes más crítico para moverse por la montaña, y especialmente entre las 13 y las 14 horas (<http://www.pararrayos.info/>). Estrada (2002) por su parte da unos valores medios mensuales para el valle central de Andorra de 8.5 días en agosto y 5.9 en julio.

Naturalmente, la variabilidad interanual de días de tormenta y de número de rayos en una zona concreta es significativa, pudiendo superar el 100 % y también varía notablemente su distribución mensual. Por ejemplo, el julio del 2006 fue mucho más tormentoso que agosto de ese mismo año en el Pirineo catalán (Fig. 16), a pesar de que el día con más descargas de todo el verano registradas por la red de AEMET y Méteo-France fue precisamente el 15 de agosto, episodio que afectó todo el ámbito pirenaico catalán y otras áreas de Cataluña (Pascual, 2006).

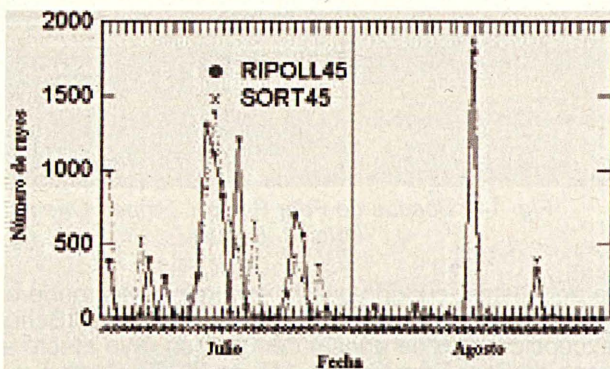


Fig. 16. Número de rayos diario a lo largo de los meses de julio y agosto de 2006 en un radio de 45 Km entorno de Sort, en el Pirineo Occidental catalán y Ripoll, en el Pirineo Oriental catalán.
(De Pascual, 2006)

En la distribución mensual y estacional de los casos influye, por supuesto, no solamente las condiciones meteorológicas sino también la frecuentación de las distintas áreas de montaña, ligada a los períodos vacacionales, a los «puentes» y a los fines de semana. De hecho, en décadas relativamente recientes, como la del 1940, en las que la población agraria era mucho más numerosa que la actual las víctimas mortales por rayo en España habían llegado a las 140 anuales (Ayala-Carcedo y Olcina, 2002), siendo una de las regiones más afectadas las elevadas parameras del Sistema Ibérico, donde la ganadería era un sector productivo importante y en consecuencia los pastores eran numerosos.

La distribución mensual mostrada anteriormente no ha de hacer olvidar que durante la primera parte de la primavera (marzo y abril) no es extraño que se configuren situaciones meteorológicas muy perturbadas, con precipitaciones abundantes en cordilleras como el Pirineo y la cordillera Cantábrica especialmente, con nevadas importantes en cotas relativamente bajas y acompañadas ocasionalmente de tormenta. El 15 de abril de 1976, por ejemplo, hubo una muerte en los Picos de Europa bajo un temporal invernal en el que aparentemente también hubo tormenta, si bien la causa de la muerte fue hipotermia y no el impacto de un rayo. El 9 de abril de 2004, unas fuertes tormentas desarrolladas gracias a la presencia de temperaturas muy bajas a niveles medios atmosféricos (-32°C en 500 hPa) afectaron a la oscense sierra de Guara, provocando la muerte de un barranquista en el río Vero. Recientemente, el 4 de abril de 2007 un rayo provocó la muerte de un montañero en el Pirineo navarro.

La distribución horaria de los accidentes reseñados muestra claramente la preferencia por las horas comprendidas entre el mediodía y el anochecer, pero no se puede descartar la posibilidad de que las tormentas se desarrollen por la mañana o durante la noche, como pasó en el accidente de agosto de 2004 en Ordesa o el de agosto de 2005 en el collado de Eina o incluso en el del Aneto, probablemente ocurrido antes de mediodía. Se debe tener en cuenta que las tormentas se inician normalmente en los macizos más elevados y en las cabeceras de los valles debido a la convergencia sobre los cordales de los vientos ladera arriba y de las brisas de valle y posteriormente se propagan hacia las partes bajas de los valles e incluso hacia las llanuras colindantes. Por tanto, tal como sugieren algunas estadísticas (Holle, 2005), no se ha de subestimar la probabilidad de que antes del mediodía no se puedan registrar en cotas altas las primeras descargas NT.

Sin duda, cuanto más se alargue la actividad en la zona de peligro, más grande será el tiempo de exposición y mayor será la Posibilidad de Encuentro (Martín, 2003) con el rayo y por tanto un método bastante eficaz de mitigar el riesgo es comenzar y acabar las excursiones o escaladas bien temprano. En más de un caso el accidente se ha producido cuando los afectados ya estaban de retorno al coche o a un lugar seguro pero como consecuencia de que el retorno era largo no hubo tiempo para evitar la tormenta. Es necesario siempre, consecuentemente, valorar detenidamente los tiempos de ida y vuelta del objetivo excursionista.

En cuanto a la distribución espacial de los accidentes, es notoria la predominancia casi absoluta del conjunto Pirineo-Prepirineo con un total de 10 casos sobre los 13 seleccionados. Esta distribución está condicionada por dos factores principales: la frecuencia anual de tormentas en las diferentes cordilleras y la frecuentación humana de las mismas. Allí donde ambos términos, implícitos en la Fórmula General del Riesgo (Olcina y Ayala-Carcedo, 2002), tengan valores elevados será donde el riesgo natural asociado al rayo será más elevado.

La combinación de una mayor peligrosidad del fenómeno, debido a su mayor probabilidad de aparición, y una mayor exposición humana respecto a otros ámbitos geográficos, lleva a un valor elevado del riesgo. La exposición humana se podría calcular, por ejemplo a escala diaria, como el número medio de horas en las que un montañero está en el exterior multiplicado por el número de montañeros realizando ese día en concreto una activi-

dad. La exposición media se podría obtener a partir de valores medios diarios, mensuales, estacionales o anuales de frecuentación. Tanto el Pirineo como la Cordillera Cantábrica son ámbitos en los que la accidentabilidad en la práctica de deportes de montaña, esté asociada o no a las condiciones meteorológicas, es muy elevada, por encima de la del resto de las montañas españolas (Pascual, 2008).

A modo de resumen, se pueden enunciar las siguientes conclusiones: para mitigar los riesgos asociados a las tormentas, la primera acción que se ha llevar a cabo es consultar el boletín de predicción adecuado y hacer una adaptación del mismo a las características propias del lugar donde se realizará la actividad. En el caso de haber decidido seguir adelante con la actividad será necesario realizar un diagnóstico y un pronóstico a muy corto plazo, *nowcasting*, sobre el terreno, con el fin de adoptar la estrategia correcta, evitando el tener que entrar en procesos de toma de decisiones sometidos a condiciones de estrés. Finalmente, si la tormenta ya está presente se deberán aplicar unas medidas de autoprotección generales y específicas según el emplazamiento concreto.

En muchos manuales de técnica deportiva o de iniciación a la meteorología y en artículos en revistas especializadas se pueden encontrar listados de estas medidas de prevención (Schubert, 1996; Thillet, 1998; Colorado, 2004; Desportes, 2004; García y Vilar, 2006; Sacasas, 2008). La idea central que debe prevalecer en la mente del montañero o el turista de montaña en lo que respecta a las tormentas es la de «no estar en el momento equivocado en el lugar equivocado».

Agradecimientos

Querríamos agradecer a Laura Trapero y a Pere Esteban del Centre d'Estudis de la Neu y de la Muntanya d'Andorra la lectura crítica de este artículo y a Gerard Martínez, del Gobierno de Andorra, la ilustradora fotografía que nos ha proporcionado.

Bibliografía

- ÁLVAREZ, E. (2000). «Climatología de descargas eléctricas». En: *V Simposio Nacional de Predicción*. (Madrid, 20-23 noviembre 2001).
- AYALA-CARCEDO, F. J. y J. OLCINA (2002). «Análisis del riesgo por rayos y relámpagos». En: F. J. Ayala-Carcedo y J. Olcina (Coord.). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel.
- CÁNCER, L. (1996). «La catástrofe del barranco de Arás: procesos naturales e hipótesis explicativa». *Geographicalia*, **33**, 51-71.
- COLORADO, J. (2004). *Tormentas en montaña*. Madrid: Desnivel.
- DESPORTES, F. (2004). «Tormentas en montaña». *Cuadernos Técnicos*, **15**, 27-29.
- DOSWELL, C. (2001). «Thunderstorms and Camping Safety». [En línea]. Disponible en: http://www.cimms.ou.edu/~doswell/tstm_camping_safety.html.
- ESTRADA, J. (2002). «Estudio sobre l'activitat tempestuosa a la valle central del principat d'Andorra (cubeta Escaldes-Andorra la Vella). Una primera aportació». *Horitzó: Revista del Centre de Recerca en Ciències de la Terra*, **1**, 12-19.
- FUSTER, J. y B. ELIZALDE (1995). «Riesgo y actividades físicas en el medio natural: un enfoque multidimensional». *Apunts. Educación Física y Deportes*, **41**, 94-107.
- GARCÍA, C. y S. VILAR (2006). *La Montaña. Manual de Meteorología*. Granollers: Alpina.

- GEORGE, D. J. (1993). «Weather and mountain activities». *Weather*, **48**, 404-410.
- GILLET-CHAULET, B. y C. VIEL (2004). Prévoir les orages sur les Pyrénées en été: contrôle des prévisions de Météo-France. *La Météorologie*, **46**, 37-43.
- HOLLE, R. L. (2005). «Lightning-caused deaths and injuries during hiking and mountain climbing». En: *International Conference on Lightning and Static Electricity* (Seattle, 20-22 septiembre 2005).
- KELLERMANN, W. (1984). *Seguridad en montaña: manual básico para alpinistas y esquiadores de montaña*. Barcelona: Planeta.
- MARTÍN, R. (2003). «Los aludes». [En línea]. *Revista de Protección Civil*, **15**. Disponible en: http://www.proteccioncivil.org/revispc15/rpc15_00.htm.
- OLCINA, J. y F. J. AYALA-CARCEDO (2002). «Riesgos naturales. Conceptos fundamentales y clasificación». En: F. J. Ayala-Carcedo y J. Olvina (Coord.). *Riesgos naturales*. Barcelona: Ariel.
- Pascual, R. (2001). «La situació meteorològica del 30 de desembre de 2000 al Pirineu Oriental». *Penell*, **9**.
- PASCUAL, R. (2006). «Aplicaciones meteorológicas para el montañismo: Una perspectiva actual». En: *XXIX Jornadas Científicas de la AME. Aplicaciones Meteorológicas*. (Pamplona, 24-26 abril 2006).
- PASCUAL, R. (2006). «Tempestes al Pirineu català. Estiu 2006», *Penell*, **22**.
- PASCUAL, R. (2008). *Accidentes en montaña y condiciones meteorológicas*. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. En prensa.
- PASCUAL, R, A. Callado y M. Berenguer (2004). «Convective storm initiation in central Catalonia». En: *Third European Conference on Radar Meteorology (ERAD) in conjunction with COST 717 Final Seminar* (Visby (Suecia), 6-10 septiembre 2004).
- PASCUAL, R. y A. CALLADO (2007). «Accidents de montaña i vents forts del nord als Pirineus mediterranis». *Penell*, **24**, 13-18.
- PASCUAL, R. y M. SORO (2008). «Toponímia meteorològica a Montserrat, el Montseny i els seus encontorns». [En línea]. *Revista Catalana de Geografia*, **33**. Disponible en: <http://www.rcg.cat/articles.php?id=111>.
- PERELLÓ, J. y J. RENÉ (1953). «Los accidentes en nuestras montañas». *Montaña*, **23**, 245-252.
- RIOSALIDO, R., J. FERRAZ, E. ÁLVAREZ, F. MARTÍN, F. ELIZAGA, A. CANSADO, J. L. CAMACHO Y A. MARTÍN (1997). *Estudio meteorológico de la situación del 7 de agosto de 1997 (Biescas)*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- SACASAS, J. (2008). *Tempestes d'estiu al Pirineu i Prepirineu català*. Barcelona: Publicacions de l'Abadia de Montserrat.
- SCHUBERT, P. (1996). *Seguridad y riesgo: análisis y prevención de accidentes de escalada*. Madrid: Desnivel. Reeditado en 2001.
- SOLÀ, J. (1996). «Accidents per llamps (II)». *Penell*, **3**, 16-17.
- TERRADELLES, E. (1999). «Focalización de la convección estival en Cataluña». En: *IV Simposio Nacional de Predicción. Instituto Nacional de Meteorología* (Madrid, 15-19 abril 1996).
- THILLET, J. J. (1998). *La meteorología de montaña*. Barcelona: Martínez Roca.
- VILAR, F. (1995). Situaciones, riesgos y recurrencia de tormentas intensas en el Pirineo oriental. En: Creus Novau, J. (Ed.). *Situaciones de riesgo climático en España*. Jaca: Instituto Pirenaico de Ecología, 95-104.